

电力系统自然灾害应急系统评价研究

王明, 叶青山, 王得道

(河南省电力公司平顶山供电公司舞阳供电分局, 河南 舞阳 462500)

摘要: 电力系统灾害应急能力评价是电力系统灾害管理的重要内容, 建立电力系统灾害应急能力评价体系对增强电力系统灾害管理能力和提高电力部门对灾害的应急响应能力有极其重要的意义。文章从系统理论的角度出发, 运用层次分析法(AHP)和专家词查法合理地确定了各个评价指标的权重, 建立起电力系统灾害应急能力评价模型。该方法很好地解决了电力系统应急能力的定量评价问题, 同时, 还可以克服主观随意性, 从而提高对电力系统灾害应急能力评价的可靠性、准确性和客观性, 为电力系统安全减灾提供科学依据。

关键词: 电力系统; 自然灾害; 层次分析法; 评价指标体系

The development of natural disaster response capacity for power system

WANG Ming, YE Qing-shan, WANG De-dao

(Pingdingshan Power Supply Company, Wugang Power Supply Sub-bureau, Wuyang 462500, China)

Abstract: The evaluation of the emergency response to natural disaster in the power system is the main part of the disaster management in the power system. Establishing this evaluation system is significant to improve the capability of the disaster management and the emergency response in power system. This paper adopts AHP and terms search methods to determine the weight of each indicator from the view of system theory, to establish the model of the evaluation of the emergency response to natural disaster. The methods in this paper have been solved the problems of quantitative evaluation of the emergency response to natural disaster in the power system, it is reliable and objective for the safety analysis of electric power systems in avoiding the subjective experience.

Key words: electric power system; natural disaster; analytic hierarchy process(AHP); system of indicators used evaluation

中图分类号: TM711 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2008)13-0057-04

0 引言

由于大电网能更合理地利用资源节约投资, 提高电能质量和供电可靠性, 因而现代电网的规模越来越大。同时, 电网也是一个巨大的自然灾害载体, 在自然灾害面前显得脆弱, 灾害一旦发生, 若采取措施不当, 必将造成巨大的损失。在一些重要的城市, 灾害不但威胁到电网自身的安全, 还关系到国家的稳定, 因此, 电网的安全减灾受到世界各国的广泛关注。电力系统灾害应急能力是衡量一个电力系统灾害管理水平高低的重要因素, 可以有效地减轻电力系统灾害的损失。由于自然灾害具有种类多样性、成因复杂性、突发性、高易损性以及电力系统应对灾害的滞后性, 因此, 电力系统要实现安全稳定运行, 必须要解决的问题就是提高电力系

统防灾、抗灾能力。

自美加大停电以来, 电力系统灾害事故的防止和研究成为世界各国政府和电力工作者关注的焦点。在国内, 也把电力系统灾害的防治和经济运行作为重大课题立项进行研究。应当指出, 建立电力系统应急管理能力的最为基本的工作, 同时, 也当建立起科学、规范、系统的电力系统应急能力评价体系。电力系统灾害应急管理能力的是一项具有反馈功能的系统工程, 建立电力系统灾害应急管理能力的的评价指标体系有助于推动电力系统灾害应急能力的建设。目前, 国家出台了如《国家处置大面积停电》等一系列文件, 有些电力部门也进行了电力系统灾害事故演习, 这些措施有效地提高了电力企业应对自然灾害的综合处理能力, 但是研究发现, 电力企业应对电力系统灾害的处理能力并没有统一的

衡量标准,因此,建立综合电力系统灾害应急能力指标评价体系对减少电力系统灾害的损失和提高电力系统稳定运行具有重大意义,是目前电力系统灾害应急的当务之急。

文中根据评价指标体系设置的原则,结合层次分析法原理,构建了电力系统自然灾害的应急能力评价系统,该系统共包含6个一级指标:灾害检测与预警能力、电网灾害防御能力、电力部门快速反应能力、政府与居民应急能力、应急救援能力以及资源保障能力,这6个一级指标基本囊括了电力系统灾害应急能力的全部内容,但是也过于泛化,因此又对6个一级指标进行详细划分,推出了23个二级指标来分别描述6个一级指标。目前,由于该电力系统自然灾害评价体系涉及广泛,影响因素复杂,正在进一步研究和细化之中。

1 评价指标体系设置的原则

1) 科学性原则

科学性是对任何评价指标体系的基本要求,电力系统是一个巨大的承载体,任何一点错误决策的代价都将是惨重的损失,因此,对电力系统灾害应急能力评估指标的设立必须要求具有较高的科学性。

2) 可行性原则

建立电力系统灾害应急能力评估体系的目的是对电力系统的防灾减灾能力进行具体的评价,以达到明确电力系统灾害管理能力和防灾减灾的目的,所以,评价指标体系的建立必须要求达到对预期结果评估的目的,要求具有较强的可操作性。

3) 层次性原则

层次性原则是根据选取指标的具体情况划分出不同的层次,它可以反映指标体系的复杂程度。

4) 灵活性原则

由于不同地域的社会、经济、气候等状况不尽一致,可以参与评价的指标也不可能完全相同,因此,在评价指标的选取和评价指标体系构建的时候要充分考虑各地域的具体情况,做到因地制宜的原则。

5) 动态性原则

由于电力系统的运行是一个动态变化的过程,运用动态性原则可以表述电力系统的灾害应急能力在时间尺度上随电力系统的变化而变化的过程,可以从动态的角度对电力系统灾害应急能力进行评估。

2 评价指标体系的构建

2.1 评价指标的选取

电力系统灾害应急能力的评价涉及到多个因

素,供选取的指标较多,而且众多指标中有很多是重复的内容。若选取带有重复内容的因子参与评价,各指标间没有被过滤掉的信息会使评价结果与实际情况有很大的差距,因此,选取能够综合反映电力系统灾害应急能力的评价指标较为困难。根据指标选取的科学性、层次性、可行性、灵活性和动态性原则,在众多参考因子中选取出了能较综合反映电力系统灾害应急能力且没有重复内容的6个一级评价指标:灾害监测与预警能力;电力系统灾害防御能力;电力部门的快速反应能力;政府部门与居民的应急反应能力;应急救援能力;资源保障能力和多个二级评价指标。

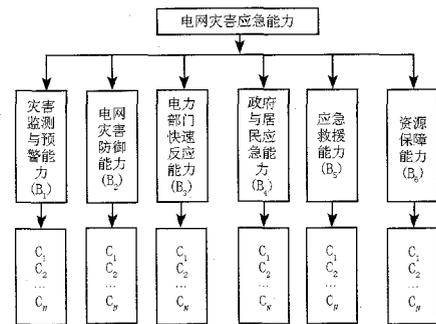


图1 电网灾害应急能力评价指标体系的层次模型

Fig. 1 Hierarchy model of evaluate index for power system emergency response capability

2.2 电力系统灾害应急能力评价指标的构建

表1 电力系统灾害应急能力的评价指标体系

Tab.1 Evaluate index of power system emergency response capability

电力系统灾害应急响应能力 (A)		
灾害监测预警能力 (B ₁)	灾害防御能力 (B ₂)	电力部门反应能力 (B ₃)
政府居民应急能力 (B ₄)	应急救援能力 (B ₅)	资源保障能力 (B ₆)
历史灾害评估能力 (C ₁)	已有灾害预警能力 (C ₂)	潜在灾害评估能力 (C ₃)
电网安全运行评估 (C ₄)	电网调度管理能力 (C ₅)	电网基础建设评估 (C ₆)
设备安全运行评估 (C ₇)	有无编制应急预案 (C ₈)	灾害损失评估能力 (C ₉)
现场指挥能力 (C ₁₀)	灾害事故演习情况 (C ₁₁)	指挥部门到达现场速度 (C ₁₂)
参与事故演习情况 (C ₁₃)	灾害信息发布能力 (C ₁₄)	居民自救能力 (C ₁₅)
与政府协作能力 (C ₁₆)	医疗救助能力 (C ₁₇)	救援队伍人力投入 (C ₁₈)
救灾资金储备情况 (C ₁₉)	救灾物资供应能力 (C ₂₀)	通讯能力 (C ₂₁)
运输能力 (C ₂₂)	灾害立法情况 (C ₂₃)	

根据评价指标体系设置的原则和指标选取的方法,结合电力系统灾害管理的相关特点,运用系统理论中的层次分析法(AHP)对电力系统灾害应急能力评价指标体系进行构建。电力系统灾害应急能力评价指标体系可分为三个层次:最高层次(A)、第二层次(B)和第三层次(C)。其中最高层次指电力系统灾害应急能力的大小;第二层次表示电力系统灾害应急能力评价中的一级评价指标,在这一级中包括了6个同级指标:对灾害的监测预警能力、防御能力、电力部门的快速反应能力、政府部门与居民的应急反应能力、应急救援能力和资源保障能力;第三层次表示电力系统灾害应急能力评价中的二级评价指标,在这一层次中包括了多个同级评价指标(表1)。

3 电力系统灾害应急能力评价指标权重计算

在众多指标评价系统中,权重设计有多种方法,如经验判断法、数理统计法、模糊统计法和层次分析法(AHP)等,这些方法各有优劣。层次分析法是美国数学家萨迪(T.L. Saaty)于1980年首次提出的一种比较简单可行、定性与定量相结合的决策分析方法,其主要优点是可以解决多目标的复杂问题。它可以为决策者提供多种决策方法,在定量和定性相结合中根据各个决策方案的标准权重数来判断决策方案的优劣,能有效地解决很多难以完全用定量或定性方法解决的实际问题。

3.1 层次分析法(AHP)的基本原理及步骤

层次分析法是根据具体问题的实质和决策要求达到的目标,把问题划分为不同的组成要素,并按照各要素之间的相互影响及隶属关系将各因素按照不同的层次组合在一起,形成一个多层次的分析结构模型,从而把最低层和最高层的相对重要权值或者相对优劣顺序排列出来,供决策者参考使用。其基本步骤如下:①建立层次结构模型;②将问题中的各个要素划分为不同的层次结构,以框架结构说明各层次之间的从属关系;③构造判断矩阵,通过专家打分把某一层中的要素和与它高一层因素之间的相对重要程度用矩阵表示出来;④对层次分析的结果进行检验,如果有误差,还需对判断矩阵的元素取值进行调整,重新进行运算。

3.1.1 评价指标判断矩阵的构建

信息是系统分析最基础的数据,任何系统分析都要掌握一定的信息才能进行,层次分析法也需要有相应的信息作为分析的基础,其信息主要来源于人们对不同层次中各个因素之间的相对重要性所作出的判断。通过引入适当的判断标度将这些判断用

数值的形式表示出来,构成判断矩阵,以便比较本层次中的各因素的重要性。设B层次中的元素 $B_1, B_2, B_3, \dots, B_N$,与上一层次A中的元素 A_K 有关系,则可以通过判断矩阵表示出来(表2)。

表2 矩阵判断形式

A_K	B_1	B_2	B_3	\dots	B_N
B_1	b_{11}	b_{12}	b_{13}	\dots	b_{1n}
B_2	b_{21}	b_{22}	b_{23}	\dots	b_{2n}
B_3	b_{31}	b_{32}	b_{33}	\dots	b_{3n}
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
B_N	b_{n1}	b_{n2}	b_{n3}	\dots	b_{nn}

不同因子间的相互比较结果是根据美国数学家莎T. L. Saaty的1~9标度方法进行打分,不同重要程度分别赋予不同的分值(表3)。

表3 判断矩阵元素 A_{ij} 的1~9标度方法

标度	含义
1	两个因子相比较,两者具有同样的重要性
3	两个因子相比较,其中一个比另一个稍微重要
5	两个因子相比较,其中一个相对另一个来说比较重要
7	两个因子相比较,其中一个相对另一个来说非常重要
9	两个因子相比较,其中一个相对另一个来说极其重要
2、4、6、8	介于上面两个相邻判断值的中间
倒数	若i与j相比较的值为 b_{ij} ,则j与i比较判断值就为 $1/b_{ij}$

3.1.2 评价指标层次排序及一致性检验

求出判断矩阵的最大特征根 λ_{MAX} 。特征向量,在做归一化处理表示为 W ,其中 W 的元素值为同一层次因素相对于上一层次某因素相对重要性排序的权重。一致性指标CI的计算如式(1)所示

$$CI = \frac{\lambda_{MAX} - N}{N - 1} \quad (1)$$

随机一致性比较结果 $CR = \frac{CI}{RI}$ 的判断标准为:

$CR < 0.1$: 说明判断矩阵有很好的-一致性,判断合理。

$CR = 0.1$: 说明判断矩阵有较好的一致性,判断较为合理。

$CR > 0.1$: 说明判断矩阵不符合一致性原则,需要进行重新调整,直到满意为止。

3.2 电力系统灾害应急能力评价指标的权重计算

3.2.1 一级评价指标的权重计算

根据层次分析法的基本原理,用6个一级评价指标建立起判断矩阵,将各个指标间的相对重要程度表示出来。其中6个一级指标分别表示为: B_1 为电力系统灾害监测与预警力; B_2 为电力系统灾害防御

能力; B_3 为电力部门的快速反应能力; B_4 为政府部门与居民的快速反应能力; B_5 为应急救援能力; B_6 为资源保障能力。其判断矩阵构建如下:

表5 一级指标评价矩阵

A(目标)	B_1	B_2	B_3	B_4	B_5	B_6
B_1	1	1/2	2	4	3	2
B_2	2	1	2	5	4	3
B_3	1/2	1/2	1	4	3	2
B_4	1/4	1/5	1/4	1	1/3	1/2
B_5	1/3	1/4	1/3	3	1	2
B_6	1/2	1/3	1/2	2	1/2	1

利用Matlab求得A的最大特征值为:

$$\lambda_{\text{MAX}} = 6.2393 \quad (2)$$

$$CI = 0.04786 \quad (3)$$

则检验指标 $CR = 0.0378 < 0.1$, 判断矩阵具有较好的一致性。

对应的矩阵特征向量为: 0.4940, 0.7124, 0.3916, 0.1016, 0.2209, 0.1897。这些特征向量经过处理后得到电力系统灾害应急能力评价指标中一级指标的权重分别为:

$$W_{B1} = 0.2341; W_{B2} = 0.3376; W_{B3} = 0.1856; W_{B4} = 0.0481; W_{B5} = 0.1047; W_{B6} = 0.0899.$$

从评价结果看出, 六个一级指标中 W_{B2} 的权重最大, 也就是说电力系统灾害防御能力是在电力系统灾害应急里最重要的环节。

3.2.2 二级评价指标的权重计算

在二级评价指标中, 可由专家对各个项进行评分, 利用层次分析法求出每项的权重。

4 电力系统灾害应急能力的评价模型

电力系统灾害应急能力的评价可以通过23个二级指标的权重和打分实现, 在评价过程中, 把各个具体的指标分别赋予一定的值 C_i ; 其中 C_i 的总分为100分, 评价时根据具体的情况给予定量打分, 确定相应的评价值, 把各个指标的赋值和相应的权重 (W_i) 相乘即可求出电力系统的灾害应急能力的评价结果 (R)。

电力系统灾害应急能力评价模型的表达式为:

$$R = \sum_{i=1}^b (C_i \times W_i) \quad (4)$$

式中: R 为电力系统灾害应急能力的评价值; C_i 为各评价指标的定量打分值; W_i 为各评价指标的权重。

5 结论

研究电力系统防灾对策、建立具有各种评价指

标的标准体系并进行实施是一项涉及面广、专业性较强的工作。建立预警、完善、实用、高效的电力系统防灾标准体系, 采取积极措施, 加强专业的综合管理, 不仅可以摒弃以往各个单灾种防范的不足, 而且能够确保通过其全面有效的实施实现电力系统灾害综合防范能力、应急能力以及电力系统灾害管理能力的全面提升。

(1) 由于电力系统灾害影响因素的复杂性和不确定性, 使得对电力系统灾害应急能力的评价极为复杂, 需要从多角度、多手段入手进行研究。目前对电力系统灾害应急能力评价方法的研究较少, 还没有较为统一的评价标准, 因此, 尝试用新方法对电力系统灾害应急能力进行评价研究具有重要的实际意义。

(2) 文章运用系统理论的层次分析法对电力系统灾害应急能力评价方法进行研究, 在计算机编程的辅助下对众多的评价因子进行计算, 克服了评价过程中计算量大、人为误差等因素, 提高了评价模型的精度。同时, 该评价方法还将定性评价和定量评价相结合, 具有较强的综合性、科学性和客观性, 是一种可行的评价方法, 具有较高的应用价值。

(3) 用层次分析法对电力系统灾害应急能力评价进行研究具有直观的表达方式, 但在评价过程中, 由于测量值的误差和专家的经验的不同, 评价的结果会有些偏差。在今后的研究中可以考虑通过一些数学方法和多次专家调查法实现。

参考文献

- [1] 许树柏. 层次分析法原理[M]. 天津: 天津大学出版社, 1988.
XU Shu-bo. The Principle of Analytical Hierarchy Process[M]. Tianjin: Tianjing University Press, 1988.
- [2] 铁永波, 唐川, 周春花. 城市灾害应急能力评价研究[J]. 灾害学, 2006, 21(1): 8-13.
TIE Yong-bo, TANG Chuan, ZHOU Chun-hua. The Application of AHP to Emergency Response Capability Assessment in Urban Disaster[J]. Journal of Catastrophology, 2006, 21(1): 8-13.
- [3] 韩祯祥, 曹一家. 电力系统的安全性及防治措施[J]. 电网技术, 2004, 28(9): 8-13.
HAN Zhen-xiang, CAO Yi-jia. Power System Security and Its Prevention[J]. Power System Technology, 2004, 28(9): 8-13.
- [4] 王正旭. 电力工业自然灾害及减灾对策[J]. 灾害学, 2001, 16(3): 21-24.
WANG Zheng-xu. Natural Disasters and Disaster Mitigation Strategy in Electric Power Industry[J]. Journal of Catastrophology, 2001, 16(3): 21-24.

(下转第81页 continued on page 81)

由表1可知,当复杂事件成倍增长时,采用主动数据库能大大缩短系统处理时间,利用Petri网的主动数据库又能改进主动数据库技术中的不足(如复杂事件间的冲突等),从而达到进一步缩短检测和处理时间,使系统更能满足实时性。

4 结论

主动实时数据库技术将实时性要求高的电网监控功能变成由数据库主动来实现,这种数据应用模式更符合实时监控的过程。通过引入 Petri 网检测机制,能更好地保证主动实时数据库和结合主动实时数据库的电网监控系统的实时性。通过进一步研究事件的运算规则和构成复杂事件的方法,可以实现更加复杂的功能。

参考文献

- [1] 周步祥,阮树骅,赵鸿图. 电网监控中的主动实时数据库技术[J]. 电力系统自动化, 1999, 23(12): 39-41.
ZHOU Bu-xiang, RUAN Shu-hua, ZHAO Hong-tu. The Active Real-Time Database Technology in Power Network Supervisory and Control[J]. Automation of Electric Power Systems, 1999, 23(12): 39-41.
- [2] 辛勇军,李咸善,胡翔勇,等. 主动的对象数据库技术及其在电力系统自动监视与控制中的运用[J]. 继电器, 2001, 29(4): 42-44.
XIN Yong-jun, LI Xian-shan, HU Xiang-yong, et al. The Active Object-oriented Databases Technology and Its Applications in Supervisory and Control Systems[J]. Relay, 2001, 29(4): 42-44.
- [3] 文本颖,谈顺涛,袁荣湘. SCADA系统中主动实时数据库技术的研究与运用[J]. 电力系统自动化, 2004, 28(6): 85-87.
WEN Ben-ying, TAN Shun-tao, YUAN Rong-xiang. A Study on the Active Real-Time Database and Its Application on the SCADA System[J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28(6): 85-87.
- [4] 毕利. 主动数据库的模型及实现途径[J]. 计算机工程, 2000, 26(9): 102-104.
BI Li. The Model of Active Database and Realization Ways[J]. Computer Engineering, 2000, 26(9): 102-104.
- [5] 何新贵. 具有主动功能的程序设计语言及其实现技术[J]. 计算机学报, 1996, 19(3): 221-229.
HE Xin-gui. The Application of the Programming Language Which Has Active Function[J]. Chinese J Computers, 1996, 19(3): 221-229.
- [6] 刘艳琼. 面向对象的主动技术在电网监控中的运用[J]. 四川电力技术, 2004, (2): 37-39.
LIU Yan-qiong. The Application of the Object-Oriented Active Database Technology[J]. Sichuan Power Technology, 2004, (2): 37-39.
- [7] 袁崇义. Petri网原理与应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 2005.
YUAN Chong-yi. The Theories and Methods of Petri Net[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2005.
- [8] 蒋昌俊. Petri网理论与方法综述[J]. 控制与决策, 1997, 12(6): 631-636.
JIANG Chang-jun. Research Survey on Theories and Methods of Petri Net[J]. Control and Decision, 1997, 12(6): 631-636.
- [9] Gatzju S, Dittrich K R. Detecting Composite Events in Active Database Systems Using Petri Nets[M]. IEEE Computer Society Press, 1994.2-9.
- [10] Widom J, Ceri S. Active Database Systems: Triggers and Rule for Advanced Database Processing[M]. Morgan Kaufmann Publishers, 1996.1-332.

收稿日期: 2007-10-22

作者简介:

李 骥(1982-), 男, 硕士研究生, 研究方向为电力系统自动化及其计算机应用; E-mail: lijie_firefox@163.com

周步祥(1965-), 男, 博士, 教授, 从事电力系统自动化及其计算机应用的研究和教学工作;

陈 实(1977-), 男, 硕士, 讲师, 研究方向为电力系统自动化。

(上接第 60 页 continued from page 60)

- [5] 谢强,李杰. 电力系统自然灾害的现状与对策[J]. 灾害学, 2006, 15(4): 16-21.
XIE Qiang, LI Jie. Current Situation of Natural Disaster in Electric Power System and Countermeasures[J]. Journal of Catastrophology, 2006, 15(4): 16-21.

作者简介:

王 明(1970-), 男, 本科, 工程师, 研究方向为电力系统; E-mail: wgdd_wm@126.com

叶青山(1966-), 男, 本科, 工程师, 研究方向为电力系统;

王得道(1983-), 男, 大专, 助理工程师, 研究方向为电力系统。

收稿日期: 2007-10-19; 修回日期: 2007-12-10